



## **Об утверждении инструкции по выполнению гравиметрических работ на пунктах государственной гравиметрической сети Республики Казахстан**

Приказ Министра цифрового развития, инноваций и аэрокосмической промышленности Республики Казахстан от 11 июня 2024 года № 337 Н/Қ

В соответствии с подпунктом 213-14) Положения о Министерстве цифрового развития, инноваций и аэрокосмической промышленности Республики Казахстан, утвержденного постановлением Правительства Республики Казахстан от 12 июля 2019 года № 501, ПРИКАЗЫВАЮ:

1. Утвердить прилагаемую инструкцию по выполнению гравиметрических работ на пунктах государственной гравиметрической сети Республики Казахстан.

2. Комитету геодезии и картографии Министерства цифрового развития, инноваций и аэрокосмической промышленности Республики Казахстан в установленном законодательством порядке обеспечить:

1) в течение пяти рабочих дней после подписания настоящего приказа направление его на казахском и русском языках в Республиканское государственное предприятие на праве хозяйственного ведения "Институт законодательства и правовой информации Республики Казахстан" Министерства юстиции Республики Казахстан для официального опубликования и включения в Эталонный контрольный банк нормативных правовых актов Республики Казахстан;

2) размещение настоящего приказа на интернет-ресурсе Министерства цифрового развития, инноваций и аэрокосмической промышленности Республики Казахстан.

3. Контроль за исполнением настоящего приказа возложить на курирующего вице-министра цифрового развития, инноваций и аэрокосмической промышленности Республики Казахстан.

4. Настоящий приказ вводится в действие по истечении десяти календарных дней после дня его первого официального опубликования.

*Министр*

*Ж. Мадиев*

Утверждена  
приказом Министра цифрового  
развития, инноваций и  
аэрокосмической  
промышленности  
Республики Казахстан  
от 11 июня 2024 года № 337 Н/Қ

**Инструкция по выполнению гравиметрических работ на пунктах государственной гравиметрической сети Республики Казахстан**

## Глава 1. Основные положения

1. Инструкция по выполнению гравиметрических работ на пунктах государственной гравиметрической сети Республики Казахстан (далее – Инструкция) разработана в соответствии с подпунктом 213-14) Положения о Министерстве цифрового развития, инноваций и аэрокосмической промышленности Республики Казахстан, утвержденного постановлением Правительства Республики Казахстан от 12 июля 2019 года № 501 "О мерах по реализации Указа Президента Республики Казахстан от 17 июня 2019 года № 24 "О мерах по дальнейшему совершенствованию системы государственного управления Республики Казахстан".

2. В Инструкции используются следующие основные понятия и обозначения:

1) Абсолютное измерение ускорения силы тяжести – метод, при котором находят полную величину ускорения силы тяжести по наблюдениям длины и времени свободно движущейся пробной массы;

2) Относительные измерения ускорения силы тяжести – метод, при котором измеряется прямо или косвенно одну из двух основных величин: время или длина, по измеренным приращениям времени или длины вычисляют приращение силы тяжести между пунктами наблюдений;

3) UTC (Coordinated Universal Time) – стандарт по которому общество регулирует часы и время;

4) Вертикальный градиент силы тяжести – первая производная ускорения силы тяжести по отвесной линии, характеризует изменение ускорения силы тяжести с высотой;

5) Микросейсмы – колебания земной поверхности малой амплитуды, вызываемые погодными условиями, атмосферными процессами, деятельностью человека процессами;

6) IAGBN (International Absolute Gravity Basestation Network) – стандарты обработки данных наблюдений абсолютной гравитации.

3. Настоящая инструкция предназначена для выполнения гравиметрических работ на пунктах государственной гравиметрической сети Республики Казахстан.

4. В Государственной гравиметрической сети на всю территорию государства установлена единица ускорения силы тяжести в единой системе, которая является основой для всех видов гравиметрических работ и служит для определения фигуры и размеров Земли.

5. Точностные характеристики определяются Инструкцией по созданию и развитию государственных геодезических, нивелирных и гравиметрических сетей утвержденной приказом Министра цифрового развития, инноваций и аэрокосмической

промышленности Республики Казахстан от 27 марта 2023 года № 107/НҚ (зарегистрировано в Реестре государственной регистрации нормативных правовых актов № 32167).

6. Государственная гравиметрическая сеть Республики Казахстан необходима для: установления единой гравиметрической системы на всю территорию Республики Казахстан;

изучения гравитационного поля и фигуры Земли, и их изменений во времени; метрологического обеспечения гравиметрических съемок.

## **Глава 2. Выполнение гравиметрических наблюдений**

### **Параграф 1. Общие требования**

7. Результаты наблюдений на пунктах записываются на цифровой носитель. Фиксируются гравиметрические определения и замечания операторов каждого прибора об условиях измерений и исключениях (отбраковки) отдельных измерений. Для этого используются как цифровые, так и бумажные журналы.

При отсутствии установленной формы журнала, данные записываются в текстовый файл, где фиксируются показания и отсчеты, непредусмотренные программным обеспечением приборов.

8. Системное время приборов и используемых компьютеров соответствует времени UTC. Перед началом измерений выполняется проверка отличия от времени UTC, а при необходимости его синхронизация с UTC.

9. При отсутствии в гравиметрических приборах встроенных датчиков регистрации атмосферного давления и температуры, либо при наличии дополнительного оборудования регистрации метеорологических параметров, во время наблюдений в непосредственной близости от гравиметрической аппаратуры измеряют атмосферное давление, температуру воздуха.

10. Требуется зафиксировать фотографиями измерение высоты прибора, его расположение, качество пункта, номер марки (при наличии).

11. Наблюдения ведутся в наиболее благоприятное время суток, когда влияние различных промышленных помех (вибрации, работа транспорта, колебания напряжения в электросети) снижаются. При появлении сильных вибраций или микросейсм (например, при распространении волн землетрясений), работу останавливают до прекращения вибраций.

12. В процессе работы оператор выполняет контроль результатов измерений для принятия решения об окончании работ или отбраковки результатов и повторных наблюдений.

### **Параграф 2. Абсолютные гравиметрические наблюдения**

13. Абсолютные измерения ускорения силы тяжести выполняются абсолютными гравиметрами. Такие наблюдения содержат следующий набор информации:

эпоха наблюдения;

координаты пункта, включая информацию о системе координат;

физическая высота пункта, включая информацию о системе высот;

описание пункта и адрес;

среднее значение ускорения силы тяжести со всеми поправками;

высота относимости над пунктом, к которой относится значение ускорения силы тяжести;

вертикальный градиент силы тяжести, используемый для передачи значения абсолютной силы тяжести по вертикали.

14. Определяются геометрические параметры постамента: длина, ширина и высота над уровнем пола (или поверхностью земли) с точностью до 10 мм. С точностью до 1 мм измеряют высоту марки над плоскостью постамента.

15. Для пунктов находящихся внутри зданий составляют схему помещения, с указанием расположения постамента, стен и других крупных объектов с точностью до 5 см.

16. Перед работами гравиметрический пункт подготавливается к измерениям с абсолютным гравиметром. Помещение выбирают незапыленное, с хорошим освещением и с беспрепятственным доступом к пункту. Условия работы обеспечивают безопасную эксплуатацию приборов. Электросеть поддерживается в исправном состоянии и обеспечивает требуемую нагрузку для используемых приборов и дополнительного оборудования к ним.

17. Если эксплуатационные требования используемого гравиметра не предусматривают возможность выполнения измерений на открытом воздухе, то при работе на улице, над пунктом устанавливается быстросборная палатка без дна. Высота от центра постамента до потолка палатки не менее 1,5 м.

18. После подготовки пункта к работе, на него устанавливается абсолютный гравиметр и выполняются измерения, в соответствии с инструкцией по эксплуатации. Программа измерений определяется в соответствии с требованиями точности из Инструкции по созданию и развитию государственных геодезических, нивелирных и гравиметрических сетей утвержденной приказом Министра цифрового развития, инноваций и аэрокосмической промышленности Республики Казахстан от 27 марта 2023 года № 107/НК (зарегистрирован в Реестре государственной регистрации нормативных правовых актов № 32167).

19. Измерения с классическими баллистическими гравиметрами представляют собой несколько серий бросков. Количество бросков в серии от 50 до 100. Число серий зависит от способности устройства фильтрации гравиметра отсеивать сейсмические колебания пункта.

20. После выполнения первой серии бросков по стандартному отклонению оценивают характеристику микросейсмического фона пункта, далее в соответствии с рекомендациями производителя, подбирают оптимальное число серий для программы наблюдений.

21. По окончании работ, файлы измерений, цифровые журналы, фотографии и сопутствующие файлы загружаются в хранилище гравиметрических данных.

### **Параграф 3. Относительные гравиметрические наблюдения**

22. Связь двух пунктов осуществляется по схеме простой, но многократной петли А-В-А-В..., а если в рейсе определяют более одного пункта, то применяют схему двойной петли А-В-А-В-С-В-С.

23. В рейсе используют не менее 2-х приборов, а число приборо-связей устанавливают в зависимости от паспортной точности прибора и условий наблюдений.

24. Расхождение результатов измерений каждого прибора от среднего по приборам, не превосходит средней квадратической ошибки определения пункта, указанной в Инструкции по созданию и развитию государственных геодезических, нивелирных и гравиметрических сетей утвержденной приказом Министра цифрового развития, инноваций и аэрокосмической промышленности Республики Казахстан от 27 марта 2023 года № 107/НҚ (зарегистрировано в Реестре государственной регистрации нормативных правовых актов № 32167).

25. Если гравиметрический пункт имеет два или более пунктов-спутников, образовывается замкнутый полигон из всех соответствующих связей, что позволяет независимо проконтролировать выполнение привязок пунктов-спутников к основному пункту. Допустимые невязки для каждого прибора в полигонах, образованных связями основных пунктов и пунктов-спутников, вычисляют по формуле , где – число сторон полигона.

26. В случае выхода из строя или неудовлетворительного результата в рейсе одного из приборов материалы измерений в этом рейсе могут быть приняты при удовлетворительных результатах остальных приборов.

27. При выполнении наблюдений группой приборов, они устанавливаются симметрично, относительно марки на минимальном расстоянии от нее.

28. Элементы редукции к центру марки определяют для каждого прибора при каждой его установке, и фиксируют в журнале наблюдений. Высота прибора (его эффективной точки) относительно центра определяется с точностью 2 мм, а горизонтальное расстояние и азимут с точностью 10 и 5 мм, соответственно. Для измерения высоты и смещения установки гравиметров относительно марки используется металлическая рулетка, а для определения азимута – аналоговые или цифровые устройства измерения магнитного азимута (например, туристический компас или мобильный телефон).

#### **Параграф 4. Настройка гравиметра**

29. Перед началом работ на локальной сети гравиметрического пункта подготавливается файл со списком исходного и определяемых пунктов и записывается в корневой каталог гравиметра.

Файл stations.txt заполняется в формате StationName, Latitude, Longitude, Elevation, Line, где StationName – название конкретного гравиметрического центра, Latitude и Longitude – широта и долгота центра, Line – номер гравиметровой связи в локальной сети.

Для обеспечения возможности дальнейшей автоматизированной обработки, названия пунктов соответствуют названиям директорий point id в файловом хранилище гравиметрических данных. При наличии марки (с номером), StationName соответствующем номеру марки.

При отсутствии координат и Latitude и Longitude, файл формируется с приближенными координатами, которые затем корректируются с помощью функции GPS на месте.

Значение соответствует отметке нормальной высоты данного пункта, определенной из нивелирования. При отсутствии до начала работ значения нормальной высоты, параметру в файле присваивается значение 0, а затем на пункте с помощью функции корректируется до геодезической высоты.

Параметру Line присваивается номер связи в локальной гравиметрической сети гравиметрического пункта. Для этого перед началом работ на гравиметрическом пункте составляется схема локальной гравиметрической сети, определяется конфигурация полигонов и присваиваются номера для связей (линий) в полигонах.

30. Перед началом работ на объекте выполняют калибровку дрейфа. Если это исследование не выполняется непосредственно на гравиметрическом пункте, то для этого выбирают подходящую твердую, устойчивую поверхность, обеспечивающую стабильность уровней гравиметра и исключаящую вибрации. Исследование выполняют ночью, когда уровень помех минимален.

#### **Параграф 5. Выполнение измерений**

31. Не менее, чем за 12 часов до начала измерений прибор устанавливается по уровням на ровной твердой поверхности, проверяются и устанавливаются аккумуляторы, гравиметр подключается к сети электропитания. Данную процедуру можно совместить с калибровкой дрейфа.

32. В течение рейса наблюдения с данным гравиметром на всех пунктах, включая исходный, выполняется одним и тем же оператором. В его обязанности входит

перевозка прибора. В течение рейса не допускается заменять аккумуляторные батареи, подключать прибор к сети, менять подставки между гравиметрами.

33. Процесс измерения на пункте заключается в следующем:

перед началом работ прибор настраивается в соответствии с рекомендациями, приведенными в пунктах 29 и 30.

Гравиметр защищается от прямых солнечных лучей, ветра и осадков. При работе на открытом воздухе устанавливается над пунктом быстросборную палатку без дна.

На постамент устанавливается штатив гравиметра. Положение установки прибора относительно марки сохраняется в течение всего рейса.

Выставляются уровни в пределах 5 угловых секунд по осям X и Y. В процессе измерений уровни не выходят из диапазона 20 угловых секунд ни по одной из осей.

Измеряется высота прибора от плоскости постамента до дна гравиметра с трех сторон и к полученному среднему значению прибавляется постоянное превышение до чувствительного элемента, указанное в руководстве пользователя. При технической возможности прибора, полученное значение вводится в меню прибора. Еще раз проверяются уровни и прибор включается в работу.

В начале, середине и в конце измерений оператор контролирует:

что уровни находятся в диапазоне  $\pm 20$  угловых секунд;

значения отсчетов не близки к 0 или 7000 мГал;

значение SDev (стандартное отклонение) не является аномально маленьким или большим.

В случае обнаружения неисправности или недопустимых значений, измерения прекращаются и начинаются только после устранения причины остановки записи.

Оператор записывает в журнал (цифровой или бумажный) время начала и конца измерений, высоту прибора и его положение на постаменте, погодные условия и помехи, делает фотографию процесса измерений.

## **Параграф 6. Определение вертикального градиента ускорения силы тяжести**

34. Из-за конструктивных особенностей гравиметрических приборов (как абсолютных, так и относительных), высота относимости полученных результатов измерений имеет разную величину, для сопоставления этих результатов, приведение их к единой отсчетной высоте, определяется вертикальный градиент.

35. Для абсолютных гравиметров высотой относимости является эффективное положение, для относительных гравиметров такой высотой является положение чувствительного элемента. Для сопоставления полученных результатов разными приборами на одном и том же пункте используют высоту относимости, оптимальную с точки зрения наименьшей погрешности аппроксимации вертикального градиента, а

именно, находящуюся внутри определяемого интервала вертикального градиента и близкой к высоте установки прибора на одном из уровней, удобно использовать высоту относимости равную 1 м.

36. Вертикальный градиент определяется из измерения приращений силы тяжести вдоль вертикали над маркой пункта на определенных интервалах высот. Неоднородность гравитационного поля над пунктом учитывается при измерениях вертикального градиента на трех и более высотных уровнях.

37. Для определения вертикального градиента используют высокоточные относительные гравиметры и специальное устройство – жесткий штатив, позволяющий устанавливать гравиметр на разной высоте.

38. Приращения между установками гравиметра на всех уровнях измеряются независимо друг от друга по замкнутой схеме.

39. Необходимая точность достигается многократным повторением измерений. Стандартное отклонение каждого приращения не превышает 3 мкГал.

40. Высотой установки гравиметра считается расстояние от плоскости постамента до расположения его чувствительного элемента, указанной производителем в руководстве по эксплуатации. Измеряется высота до дна прибора, к которой затем прибавляется указанная постоянная.

41. Высоты установки гравиметров выбираются близким к высотам относимости известных абсолютных и относительных гравиметров: 0.2 м, 0,7 м и 1.2 м.

42. За время выполнения программы гравиметр устанавливается на одни и те же уровни, положение и длина ножек неизменны за все время выполнения программы наблюдений. На каждой установке гравиметра измеряется точное значение и записывается в журнал. Высоты приборов определяются строго от плоскости постамента (не от марки). Также измеряется высота марки над плоскостью постамента и записывается в журнал.

43. На постаментах фундаментальных пунктов определяют пространственную модель гравитационного поля. Для этого на его верхней грани намечают точки, на которых будут выполняться измерения приращение силы тяжести по вертикали. При площади постамента не более  $1.5 \times 1.5$  м достаточно 5 точек: одна над маркой и 4 по углам. Результатом определения градиента ускорения силы тяжести фундаментального пункта будет являться пространственное поле минимум из 15 точек.

### **Глава 3. Обработка гравиметрических наблюдений**

#### **Параграф 1. Обработка абсолютных гравиметрических наблюдений**

44. Абсолютные классические баллистические гравиметры, основанные на свободном падении пробной массы, реализуют несимметричный метод. Стандарты



обработки данных абсолютной гравиметрии используются на соглашениях Международной сети базовых пунктов абсолютной гравиметрии (IAGBN).

45. Алгоритм обработки полученных значений силы тяжести из серий бросков идентичен для всех моделей классических баллистических гравиметров. По каждой серии бросков вычисляется среднее арифметическое значение с оценкой по стандартному отклонению среднего значения.

Выбросы в серии определяются и исключаются итерационно по простому правилу трех сигм. Начиная с полной серии, алгоритм отбрасывает все броски, не удовлетворяющие условию, после чего вычисляются новые значения среднего и стандартного отклонений.

46. По окончании программы наблюдений, вычисляется среднее весовое значение силы тяжести и стандартное отклонение среднего весового.

47. В случаях, если программа сбора и обработки данных абсолютного гравиметра не предоставляет значение эффективного положения явным образом, для получения окончательного результата в виде абсолютного значения силы тяжести на эффективной высоте и значение эффективной высоты, необходимо выполнить соответствующие вычисления для их определения.

48. Результатом пост-обработки будет среднее значение силы тяжести на эффективной высоте с соответствующим стандартным отклонением, и эффективная высота.

## **Параграф 2. Вычисление вертикального градиента ускорения силы тяжести**

49. Исходными данными для определения функции вертикального градиента являются уравненные приращения силы тяжести между смежными парами установок гравиметра на трех и более уровнях по замкнутому контуру, и высоты установок прибора.

50. Для определения нелинейности вертикального градиента достаточно использовать аппроксимацию силы тяжести над постаментом полиномом второй степени.

## **Параграф 3. Обработка относительных гравиметрических наблюдений**

51. Результатом измерений с гравиметрами являются отсчеты по шкале гравиметра, которые уже исправлены поправками за температуру, дрейф, лунно-солнечные приливы и наклон прибора.

52. Основная величина поправки за дрейф учитывается автоматически, а по разностям в отсчетах на исходном пункте определяется и учитывается остаточный дрейф. Функция дрейфа часто носит нелинейный характер, поэтому для оптимального решения может использоваться аппроксимация полиномом второй степени.

53. На заводе изготовителе для каждого гравиметра определяется калибровочный коэффициент  $G_{CAL1}$ . По результатам периодических калибровок (для каждого гравиметра) определяются близкие к единице калибровочные коэффициенты.

54. После введения поправок за остаточный дрейф и калибровку, получается исправленный отсчет по гравиметру.

55. Итоговая обработка полученных данных выполняется на основе уравнений связи, в результате уравнивания по методу наименьших квадратов находят значение ускорения силы тяжести и их оценки на всех неизвестных пунктах локальной сети.

56. Для автоматизированной обработки используются специальные программные обеспечения.

## **Глава 4. Представление и хранение результатов**

### **Параграф 1. Файловое хранение цифровых данных**

57. Материалы, полученные в процессе производства измерений (исходные файлы измерений, фотографии, журналы, файлы обработки) записываются на цифровой носитель и прилагаются к пояснительной записке или отчету, а также загружаются в файловое хранилище на сервер сбора, хранения и обработки гравиметрических данных.

58. Структура директорий хранения файлов результатов гравиметрических наблюдений на пунктах государственной гравиметрической сети строится логичной и однозначной для возможностей автоматизации обработки. Все директории называются латинскими строчными символами.

### **Параграф 2. Журналы наблюдений**

59. Относительные автоматизированные гравиметры записывают все необходимые параметры для интерпретации и последующей обработки результатов измерений, регистрируются данные, непредусмотренные программным обеспечением прибора, такие как положение прибора во время измерений, внешние условия наблюдений. Для абсолютных гравиметров ведение журнала необязательно.

Журналы для автоматизированных гравиметров содержат только дополнительную информацию описательного характера.

60. В журнале гравиметрических наблюдений зарисовывают, как установлены гравиметрические приборы на пункте, и записывают высоты их эффективных точек над верхней плоскостью монолита и расстояния от марки монолита.

В журналы записываются номера применяемых приборов, данные об операторе, внешние условия наблюдений, адрес расположения пункта, его координаты, высота, особенности выполнения наблюдений.

### **Параграф 3. Основные вопросы, освещаемые в техническом отчете**

61. Технический отчет составляется по завершении всех работ на объекте, или завершении кампании запланированных гравиметрических работ по требованию заказчика работ.

62. Технический отчет содержит:

содержание и объем задания;

плановые и фактические объемы, сроки и стоимость работ;

описание аппаратуры и методики гравиметрических работ;

результаты исследования аппаратуры;

ход выполнения работ;

обработка результатов измерений;

анализ полученных материалов и оценка их точности;

выводы и предложения.

63. К отчету прилагаются ведомости вычислений, материалы численной обработки и дополнительные материалы, позволяющие задокументировать способ получения определяемых величин.